

· 临床研究 · doi:10.3969/j.issn.1671-8348.2024.21.001

网络首发 [https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241008.1152.002\(2024-10-09\)](https://link.cnki.net/urlid/50.1097.R.20241008.1152.002(2024-10-09))

不同心肌保护液在全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术中的应用效果比较*

李天宝,张永革,章晓华,孟擎擎,何海林,贺子剑,全梓林,周成斌[△]

[南方医科大学附属广东省人民医院(广东省医学科学院)心外科,广州 510080]

[摘要] **目的** 探讨不同心肌保护液在全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术中的应用效果。**方法** 回顾性分析 2020 年 5 月至 2024 年 1 月在该院行全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术的 72 例患者病例资料。根据使用不同心肌保护液分为 St. Thomas 停搏液组(STH 组, $n=13$), del Nido 停搏液组(DN 组, $n=24$), 组氨酸-色氨酸-酮戊二酸酯液组(HTK 组, $n=35$)。比较各组术前、术中乳酸(Lac)水平, 术前、手术当天及术后最高心肌型肌酸激酶同工酶(CK-MB)、肌钙蛋白 T(TnT)及肌酐(Cr)水平, 体外循环时间、主动脉阻断时间、体外循环最大流量、体外循环最低膀胱温度、停搏液灌注次数、主动脉开放后除颤比例、术后呼吸机辅助时间、住 ICU 时间、术后住院时间。**结果** 除 1 例 HTK 组患者术后自动出院外, 其余 71 例患者均康复遵医嘱出院。3 组年龄、体重、体外循环时间、主动脉阻断时间、体外循环最大流量、体外循环最低膀胱温度、体外循环前 Lac、体外循环最高 Lac、术后呼吸机辅助时间、住 ICU 时间、术后住院时间、术前 Cr、术后当天 Cr、术后最高 Cr、术前 TnT、术后当天 TnT、术后最高 TnT、术前 CK-MB、术后当天 CK-MB、术后最高 CK-MB 比较差异均无统计学意义($P>0.05$), 主动脉开放后除颤比例和心肌保护液灌注次数比较差异有统计学意义($P<0.05$)。心肌保护液灌注次数组间两两比较差异均有统计学意义($P<0.05$), DN 组主动脉开放后除颤比例与 HTK 组比较差异有统计学意义($P<0.05$)。**结论** DN、STH 和 HTK 在全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术中均具有良好的心肌保护效果。HTK 相对 DN、STH 具有较少灌注次数, 减少手术操作的优势; DN 相对 HTK 在主动脉开放后有较低使用电除颤纠正心律失常比例的优势。

[关键词] 全胸腔镜; 微创主动脉瓣; 心肌保护

[中图分类号] R654.2

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-8348(2024)21-3201-05

Comparison of application effects among different myocardial protective solutions in total thoracoscopic minimally invasive aortic valve replacement surgery*

LI Tianbao, ZHANG Yongping, ZHANG Xiaohua, MENG Qingqing, HE Hailin, HE Zijian, QUAN Zilin, ZHOU Chengbin[△]

[Department of Cardiovascular Surgery, Affiliated Guangdong Provincial People's Hospital, Southern Medical University (Guangdong Provincial Academy of Medical Science), Guangzhou, Guangdong 510080, China]

[Abstract] **Objective** To investigate the application effects of different myocardial protective solutions in total thoracoscopic minimally invasive aortic valve replacement surgery. **Methods** The clinical data of 72 patients with total thoracoscopic minimally invasive aortic valve replacement surgery in this hospital from May 2020 to January 2024 were analyzed retrospectively. The patients were divided into the St Thomas cardioplegia group (STH group, $n=13$), del Nido cardioplegia group (DN group, $n=24$), histidine tryptophan ketoglutarate solution group (HTK group, $n=35$) according to the different myocardial protective solutions. The levels of lactate (Lac) before and during surgery, the highest levels of myocardial creatine kinase isoenzyme (CK-MB), high-sensitivity troponin T (TnT) and creatinine (Cr) before operation, on the operative day and after surgery as well as the duration of extracorporeal circulation, aortic cross-clamping time, maximum flow rate, minimum bladder temperature, cardioplegia perfusion times, number of defibrillation after aortic de-clamping, postoperative ventilator assisted time, ICU stay duration and postoperative hospitalization duration were compared among the three groups. **Results** Except for 1 case of HTK was discharged automatically after surgery,

the other 71 cases recovered and discharged according to the doctor's advice. There were no statistically significant differences in the age, body weight, extracorporeal circulation time, aortic blocking time, maximum flow volume of extracorporeal circulation, minimum bladder temperature of extracorporeal circulation, Lac before extracorporeal circulation, highest Lac during extracorporeal circulation, assistant time of postoperative ventilator, ICU stay duration, postoperative hospitalization duration, serum Cr before operation, Cr on operative day, preoperative TnT, postoperative TnT on operative day, postoperative highest TnT, preoperative CK-MB, postoperative CK-MB on operative day and postoperative highest CK-MB among the three groups ($P > 0.05$). There were statistically significant differences in the defibrillation ratio after aortic de-clamping and perfusion frequency of myocardial protective solution ($P < 0.05$). There was statistically significant difference in the perfusion frequency of myocardial protective solution in pairwise comparison among groups ($P < 0.05$), and the defibrillation ratio after aortic de-clamping had statistical difference between the DN group and HTK group ($P < 0.05$). **Conclusion** DN, STH and HTK all have good myocardial protective effect in total thoracoscopic minimally invasive aortic valve surgery. HTK has the advantages of less perfusion times and decreasing the operative procedures compared with DN and STH; DN has the advantage of lower use for electrical defibrillation correcting arrhythmias after aortic opening over HTK.

[Key words] total thoracoscopy; minimally invasive aortic valve surgery; myocardial protection

随着心脏外科微创技术的进步与发展,全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术开始被关注,国内已有全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术的相关报道^[1-2]。心肌保护作为体外循环技术的热点与挑战之一,是微创心脏手术的一个重要环节,由于全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术依赖于右前胸肋间小切口,受限于主动脉瓣解剖位置和空间的原因,操作难度大、风险高,体外循环和主动脉阻断时间较常规开胸手术长,需要与之相适应的体外循环心肌保护策略辅助^[3-4]。本文总结全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术时应用不同心肌保护液的效果,为临床提供参考。

1 资料与方法

1.1 一般资料

选取 2020 年 5 月至 2024 年 1 月在本院行全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术的 72 例患者为研究对象。其中男 55 例,女 17 例,年龄 19~72 岁,平均(51.93±11.92)岁。纳入标准:(1)年龄≥18 岁;(2)术中在全胸腔镜下通过右侧胸壁切口完成的主动脉瓣置换手术;(3)临床资料完整。排除标准:(1)既往有心脏手术史;(2)通过正中、胸管上段或断开肋骨小切口完成微创手术;(3)急性或亚急性感染性心内膜炎,结缔组织病;(4)需同期行其他瓣膜手术;(5)股动脉明显钙化、折曲等,存在建立外周体外循环禁忌。本研究经本院伦理审查委员会批准(审批号:KY-Q-2022-446-01)。根据使用不同心肌保护液分为 St. Thomas 停搏液组(STH 组, $n=13$)、del Nido 停搏液组(DN 组, $n=24$)、组氨酸-色氨酸-酮戊二酸酯液组(HTK 组, $n=35$)。

1.2 方法

1.2.1 心肌保护液使用方法

STH 组患者首次使用高浓度 STH(血液:晶体液为 4:1)1 200 mL 用于心脏停搏,间隔 30 min 再次灌注低浓度 STH(血液:晶体液为 4:1)600 mL; DN 组患者首次使用 DN(血液:晶体液为 1:4)1 000 mL 用于心脏停搏,间隔 90 min 再次灌注 500 mL。HTK 组患者首次使用 HTK 2 000 mL 用于心脏停搏,灌注时间 6~8 min,间隔 3 h 再次灌注 1 000 mL。

1.2.2 手术切口

右侧胸壁开 3 个操作孔:主操作孔位于右侧第 3 肋间锁骨中线与腋前线之间,切口长度 3.0~4.0 cm; 辅助孔位于第 3 肋间腋前线与腋中线之间,长度 1.5~2.0 cm; 腔镜孔位于第 4 肋间腋前线,靠近腋中线,长度 1.0~1.5 cm,靠近腋中线。术中使用二氧化碳气体通过辅助孔吹入。

1.2.3 体外循环

采用 Stocker III 型或 V 型人工心肺机(意大利 Sorin 公司),进口成人氧合器(美国 Medtronic 公司、日本 Terumo 公司、意大利 Sorin 公司)、国产成人氧合器(山东威高拓威医疗器械有限公司、东莞科威医疗器械有限公司)、国产体外循环管路(西安西京医疗用品有限公司)、动脉插管(常州康心医疗器械有限公司、美国 Medtronic 公司)、静脉插管(常州康心医疗器械有限公司)。体外循环中平均动脉压维持在 50~80 mmHg, 储血罐负压维持在 -50~-30 mmHg, 膀胱温度维持在 30~32 °C, 灌注流量 60~90 mL, 血细胞比容维持在 0.25~0.30。

1.2.4 脱离呼吸机的常规标准

呼吸频率 < 30 次/min, 吸入氧气的浓度(FiO_2) < 40%、脉搏血氧饱和度(SpO_2) > 95%、试验拔管期间无

明显呼吸窘迫或血流动力学恶化,无浅快呼吸指数(呼吸频率与潮气量比值),氧合指数($\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$) >300 mmHg、动脉血氧分压(PaO_2) >80 mmHg。

1.2.5 观察指标

比较各组患者术前、术中乳酸(Lac)水平,术前、手术当天及术后最高心肌型肌酸激酶同工酶(CK-MB)、肌钙蛋白 T(TnT)及肌酐(Cr)水平,体外循环时间、主动脉阻断时间、体外循环最大流量、体外循环最低膀胱温度、停搏液灌注次数、主动脉开放后除颤比例、术后呼吸机辅助时间、住 ICU 时间、术后住院时间。TnT <5 pg/mL、CK-MB <10 U/L 时,分别按照数值 5 和 10 进行统计分析。

1.3 统计学处理

采用 SPSS23.0 软件进行统计学分析。符合正态分布的计量资料以 $\bar{x} \pm s$ 表示,多组间比较采用单因素 ANOVA 检验,两组间比较采用 LSD 多重比较法;偏态分布的计量资料以 $M(Q_1, Q_3)$ 表示,多组间比较采用 Kruskal-Wallis H 检验,两组间比较采用非参数秩和检验;计数资料以例数或百分比表示,采用 χ^2 检验或 Fisher 确切概率法。以 $P < 0.05$ 为差异有统计学意义。

2 结果

2.1 术后情况

除 1 例 HTK 组患者术后自动出院外,其余 71 例患者均康复遵医嘱出院。术中 1 例停体外循环后因左房顶部血肿拆除主动脉瓣重新手术。全组术后呼吸机辅助时间 13.5(6.0,19.5)h,住 ICU 时间 3(2,4)d,术后住院时间 6(5,8)d。

2.2 各组临床资料比较

3 组年龄、体重、体外循环时间、主动脉阻断时间、体外循环最大流量、体外循环最低膀胱温度、体外循环前 Lac、体外循环最高 Lac、术后呼吸机辅助时间、住 ICU 时间、术后住院时间、术前 Cr、术后当天 Cr、术后最高 Cr、术前 TnT、术后当天 TnT、术后最高 TnT、术前 CK-MB、术后当天 CK-MB、术后最高 CK-MB 比较差异均无统计学意义($P > 0.05$),主动脉开放后除颤比例和心肌保护液灌注次数比较差异有统计学意义($P < 0.05$)。心肌保护液灌注次数组间两两比较差异均有统计学意义($P < 0.05$),DN 组主动脉开放后除颤比例与 HTK 组比较差异有统计学意义($P < 0.05$),见表 1。

表 1 各组临床资料分析

项目	DN 组($n=24$)	STH 组($n=13$)	HTK 组($n=35$)	$F/\chi^2/H$	P
年龄($\bar{x} \pm s$, 岁)	51.63 \pm 11.57	49.92 \pm 12.07	52.89 \pm 12.33	0.299	0.743
体重($\bar{x} \pm s$, kg)	67.46 \pm 9.73	66.65 \pm 8.18	65.69 \pm 10.39	0.236	0.791
体外循环时间($\bar{x} \pm s$, min)	167.50 \pm 48.60	200.31 \pm 60.67	178.46 \pm 46.63	1.817	0.170
主动脉阻断时间($\bar{x} \pm s$, min)	112.25 \pm 37.80	129.00 \pm 27.79	119.09 \pm 34.16	1.005	0.372
体外循环最大流量($\bar{x} \pm s$, L/min)	4.95 \pm 0.42	4.85 \pm 0.59	4.71 \pm 0.49	1.774	0.177
体外循环最低膀胱温($\bar{x} \pm s$, $^{\circ}\text{C}$)	31.22 \pm 1.00	30.66 \pm 1.44	30.50 \pm 1.09	2.951	0.059
心肌保护液灌注次数[$M(Q_1, Q_3)$, 次]	1.0(1.0, 2.0) ^{ab}	2.0(2.0, 2.0)	1.0(1.0, 1.0) ^a	41.006	<0.001
体外循环前 Lac[$M(Q_1, Q_3)$, mmol/L]	0.80(0.65, 1.05)	0.70(0.60, 1.00)	0.80(0.65, 1.00)	0.294	0.863
体外循环最高 Lac[$M(Q_1, Q_3)$, mmol/L]	1.40(1.20, 2.10)	1.90(1.60, 2.10)	1.40(1.20, 2.15)	1.132	0.568
术后呼吸机辅助时间[$M(Q_1, Q_3)$, h]	7.8(4.0, 15.5)	18.0(13.0, 21.0)	15.0(6.5, 20.5)	5.067	0.079
住 ICU 时间[$M(Q_1, Q_3)$, d]	2.5(1.0, 4.0)	3.0(2.0, 4.0)	3.0(2.0, 3.0)	1.181	0.554
术后住院时间[$M(Q_1, Q_3)$, d]	8.0(5.0, 10.0)	7.0(5.0, 10.0)	6.0(5.0, 7.0)	2.244	0.326
主动脉开放后除颤比例[$n(\%)$]	2(8.3) ^b	3(23.1)	14(40.0)	7.439	0.024
术前 Cr($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)	78.91 \pm 12.19	80.15 \pm 18.60	79.29 \pm 14.26	0.031	0.969
术后当天 Cr($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)	78.95 \pm 17.73	83.14 \pm 21.44	77.95 \pm 20.22	0.334	0.718
术后最高 Cr($\bar{x} \pm s$, $\mu\text{mol/L}$)	91.39 \pm 19.45	105.80 \pm 33.31	88.81 \pm 26.94	2.070	0.134
术前 TnT[$M(Q_1, Q_3)$, pg/mL]	8.8(5.7, 13.5)	13.3(7.6, 17.3)	13.3(7.8, 16.6)	1.476	0.478
术后当天 TnT[$M(Q_1, Q_3)$, pg/mL]	318.9(101.0, 703.2)	249.8(188.5, 457.2)	341.2(231.4, 594.2)	1.795	0.408
术后最高 TnT[$M(Q_1, Q_3)$, pg/mL]	394.1(120.4, 703.2)	455.8(222.8, 553.6)	345.3(260.4, 631.8)	0.670	0.715
术前 CK-MB[$M(Q_1, Q_3)$, U/L]	10.0(10.0, 11.5)	10.1(10.0, 13.0)	11.0(10.0, 12.9)	3.251	0.197
手术当天 CK-MB[$M(Q_1, Q_3)$, U/L]	37.7(32.1, 55.7)	39.3(28.3, 52.6)	43.6(28.6, 58.1)	0.049	0.976
术后最高 CK-MB[$M(Q_1, Q_3)$, U/L]	37.3(32.0, 55.7)	39.3(29.6, 55.7)	43.6(30.4, 57.7)	0.119	0.942

^a: $P < 0.05$, 与 STH 组比较; ^b: $P < 0.05$, 与 HTK 组比较。

3 讨 论

理想的全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术,应该是与传统开放手术相同的手术效果和患者重要脏器的安全为前提,心肌保护是心血管外科的热点之一。无论 DN、STH 或 HTK 用于心脏手术,都实现了可控的心脏停搏,使手术顺利进行,每种类型的心肌保护液都有优缺点,哪种能够提供最好的心肌保护仍存在争议^[5-6]。本研究显示,3 组年龄、体重、体外循环时间、主动脉阻断时间、体外循环最大流量、体外循环最低膀胱温度、体外循环前 Lac、体外循环最高 Lac、术后呼吸机辅助时间、住 ICU 时间、术后住院时间、术前 Cr、术后当天 Cr、术后最高 Cr、术前 TnT、术后当天 TnT、术后最高 TnT、术前 CK-MB、术后当天 CK-MB、术后最高 CK-MB 比较差异均无统计学意义($P>0.05$),3 种心肌保护液均可以保护全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术患者的心肌。

目前使用的心肌保护液根据钠、钾离子浓度和对心肌细胞动作电位干预分为以 HTK 为代表的细胞内液型晶体心肌保护液和以 STH、DN 为代表的细胞外液型含血心肌保护液。目前没有证据表明哪种心肌保护液最安全,在体外循环中的使用通常取决于外科医生的偏好^[7]。多数全胸腔镜微创手术时会选择作用时间较长的灌注液,由于 DN 和 HTK 重复灌注间隔时间长通常作为首选^[8]。针对这类心肌保护液对全胸腔镜微创手术患者的心肌影响,还需要更多具有价值的临床研究来提供临床证据,其还存在未知问题,即重复灌注间隔时间用于低危和高危患者的差异如何识别和个体化设定尚缺乏有效临床证据,目前通常选择术后血清中的 TnT 和 CK-MB 等生物标志物水平对心肌损伤进行评估^[9]。本研究主要使用相关生物标志物和其他临床数据对比使用不同心肌保护液后患者的临床心肌保护效果,3 组在术前及术后的生物标志物水平无差异,结合本研究中主动脉开放后 HTK 组较高的心律失常需要电除颤比例,还需要更多的指标来辅助判断心肌损伤效果。

DN 和 STH 是利用高血钾使心肌细胞动作电位去极化和混合冷的血液进行心脏停搏。DN 配方中增加了甘露醇和碳酸氢钠,碳酸氢钠在心脏停搏期间可以中和厌氧糖酵解产生的酸中毒,甘露醇可以清除灌注期间产生的氧自由基,减少低渗透压引起的心肌水肿。在成人主动脉瓣置换手术中,间隔 90 min 再次灌注的 DN 可以达到与 STH 相同的心肌保护效果,有报道道其作为单剂量心肌保护液来使用^[10-12]。也有报道对比术后 Cr、TnT 和 CK-MB 等生物标志物水平,发现 DN 相对 STH 可以预防心脏手术相关的急性肾损伤^[13],有更好的术中血糖管理^[14],反映了 DN 应用在主动脉瓣置换手术中的优越性。STH 组

Cr 水平与 DN 组比较无差异,但后者术中灌注次数有明显优势,减少了对术者的影响和灌注相关手术操作步骤。DN 相对 STH 具有较长时效的心肌保护作用也是使用 DN 人数相对 STH 人数较多的一个重要原因,DN 适合在主动脉阻断时间 90 min 内能够完成心内操作的术者。

HTK 是在细胞内液成分的基础上增加了组氨酸、色氨酸、酮戊二酸等成分,利用低钠使细胞钠离子无法内流产生动作电位使心脏停搏,它提供了相对 DN 和 STH 更长时间的心肌保护,心肌保护时间 120~180 min,最大限度地减少了手术过程的中断,但 HTK 需要精确的剂量和适当的灌注时间来确保最佳的心肌保护^[15-16]。有研究发现,HTK 有更好的冠状动脉内皮保护功能,但 DN 有更好的左心室舒张保护功能^[17-18]。也有研究表明,以 STH 为代表的含血灌注心脏停搏液相对于 HTK 对左心室射血分数降低的患者更有益,对于危重症患者还是首选^[19]。DN 相对于 HTK 对心肌保护非常有效且经济方面更加实惠^[20]。尽管本研究中 3 组术前、术后的 Cr、TnT 和 CK-MB 生物标志物没有差异性,但是 HTK 组相对于 DN 组主动脉开放后出现了较高的除颤比例。这可能与 HTK 引起了心肌组织细胞水肿,或较长时间未再次灌注进行心肌保护导致心肌一定程度的损伤有关,而 DN 中的甘露醇起到了减少低渗透压引起的心肌水肿的作用,这需要后续进一步研究。DN 和 STH 使用时需要临时配置,存在配置时错误的风险,结合 HTK 相对 DN 和 STH 在灌注次数方面的优势,HTK 成为本研究中术者最多选用的心肌保护液。

综上所述,在进行全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术的心肌保护液选择时,长时效的 HTK 和 DN 相对 STH 能够减少灌注次数和术中手术时间;DN 相对 HTK 在主动脉开放后较少发生心律失常而需要除颤。由于本研究是单中心回顾性研究,缺乏对全胸腔镜微创主动脉瓣置换手术患者心肌保护潜在问题的更多临床证据,还需要多中心通过大量临床数据和更多前瞻性的研究进一步探讨。

参考文献

- [1] 汪珍忠,杨燕晨,黄焕雷,等. 全胸腔镜微创主动脉瓣及双瓣置换术的早期结果[J]. 中国胸心血管外科临床杂志,2023,30(5):710-717.
- [2] 崔勇,王树伟,周冰,等. 胸腔镜辅助腋下切口同期主动脉瓣和二尖瓣手术 30 例临床分析[J]. 中华胸心血管外科杂志,2022,38(2):106-108.
- [3] DI BACCO L, MICELI A, GLAUBER M. Minimally invasive aortic valve surgery[J]. J Thorac

- Dis, 2021, 13(3):1945-1959.
- [4] HOYER A, KIEFER P, BORGER M. Cardioplegia and myocardial protection; time for a reassessment? [J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11(5):E76-78.
- [5] RUSSELL S, BUTT S, VOHRA H A. In search of optimal cardioplegia for minimally invasive valve surgery[J]. *Perfusion*, 2022, 37(7):668-674.
- [6] LIRA K B, DELVAUX R S, SPADINI F A, et al. Myocardial protection; comparing histological effects of single-dose cardioplegic solutions—study protocol for a secondary analysis of the CARDIOPLEGIA trial[J]. *J Thorac Dis*, 2024, 16(2):1480-1487.
- [7] ALI J M, MILES L F, ABU-OMAR Y, et al. Global cardioplegia practices; results from the global cardiopulmonary bypass survey [J]. *J Extra Corpor Technol*, 2018, 50(2):83-93.
- [8] RIZVI M, YOUSUF S, YOUNAS A, et al. Prospective randomized study comparing outcome of myocardial protection with del-Nido cardioplegia versus Saint Thomas cardioplegia in adult cardiac surgical patients [J]. *Pak J Med Sci*, 2022, 38(3):699-704.
- [9] 李欣. 顺应微创心外科发展, 追求更好的体外循环[J]. *中国体外循环杂志*, 2022, 20(2):65-66.
- [10] LUO H, QI X, SHI H, et al. Single-dose del Nido cardioplegia used in adult minimally invasive valve surgery [J]. *J Thorac Dis*, 2019, 11(6):2373-2382.
- [11] 时慧, 刘超启, 赵惠, 等. del Nido 心脏停搏液在成人心脏外科临床实践和应用常规的制订[J]. *中国体外循环杂志*, 2019, 17(4):206-210, 214.
- [12] MISRA S, SRINIVASAN A, JENA S S, et al. Myocardial protection in adult cardiac surgery with del Nido versus blood cardioplegia: a systematic review and meta-analysis [J]. *Heart Lung Circ*, 2021, 30(5):642-655.
- [13] SANETRA K, GERBER W, SHRESTHA R, et al. The del Nido versus cold blood cardioplegia in aortic valve replacement; a randomized trial [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2020, 159(6):2275-2283.
- [14] ZIAZADEH D, MATER R, HIMELHOCH B, et al. Single-dose del Nido cardioplegia in minimally invasive aortic valve surgery [J]. *Semin Thorac Cardiovasc Surg*, 2017, 29(4):471-476.
- [15] ALBADRANI M. Histidine-tryptophan-ketoglutarate solution versus multidose cardioplegia for myocardial protection in cardiac surgeries: a systematic review and meta-analysis [J]. *J Cardiothorac Surg*, 2022, 17(1):133.
- [16] REYNOLDS A C, ASOPA S, MODI A, et al. HTK versus multidose cardioplegias for myocardial protection in adult cardiac surgery: a meta-analysis [J]. *J Card Surg*, 2021, 36(4):1334-1343.
- [17] XUE H M, HOU H T, SUN W T, et al. del Nido cardioplegia better preserves cardiac diastolic function but histidine-tryptophan-ketoglutarate is better for endothelial function [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2022, 61(6):1368-1378.
- [18] NAKAO M, MORITA K, SHINOHARA G, et al. Superior restoration of left ventricular performance after prolonged single-dose del Nido cardioplegia in conjunction with terminal warm blood cardioplegic reperfusion [J]. *J Thorac Cardiovasc Surg*, 2022, 164(4):e143-153.
- [19] HOYER A, LEHMANN S, MENDE M, et al. Custodiol versus cold Calafiore for elective cardiac arrest in isolated aortic valve replacement: a propensity-matched analysis of 7 263 patients [J]. *Eur J Cardiothorac Surg*, 2017, 52(2):303-309.
- [20] ALMEIDA A S, CERON R O, ANSCHAU F, et al. Comparison between Custodiol, del Nido and modified del Nido in the myocardial protection-cardioplegia trial: a study protocol for a randomised, double-blind clinical trial [J]. *BMJ Open*, 2021, 11(9):e047942.

(收稿日期:2024-03-19 修回日期:2024-07-22)

(编辑:唐 璞)